



李水平, 王建光, 白德胜, 等. 2014. 坦桑尼亚 Maheiga 金矿地球物理特征与找矿标志. 地球物理学进展, 29(5): 2395-2400, doi: 10. 6038/pg20140560.

LI Shui-ping, WANG Jian-guang, BAI De-sheng, *et al.* 2014. Geophysical characteristics and prospecting indicators of the Maheiga gold deposit in Tanzania. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 29(5): 2395-2400, doi: 10. 6038/pg20140560.

## 坦桑尼亚 Maheiga 金矿地球物理特征与找矿标志

### Geophysical characteristics and prospecting indicators of the Maheiga gold deposit in Tanzania

李水平, 王建光, 白德胜, 袁杨森, 程华, 孙进, 冯攀, 邵江波

LI Shui-ping, WANG Jian-guang, BAI De-sheng, YUAN Yang-sen, CHENG Hua, SUN Jin, FENG Pan, SHAO Jiang-bo

河南省地质矿产勘查开发局第二地质矿产调查院, 郑州 450001

No. 2 Institute of Geological & Mineral Resources Survey of Henan, Zhengzhou 450001, China

**摘要** 坦桑尼亚 Maheiga 金矿属于隐伏的条带状铁建造型金矿, 与条带状含铁建造(BIF)密切相关; 通过对区域上和矿区内的岩(矿)石磁性参数和磁力异常特征的分析研究, 表明赋矿的条带状含铁建造和金矿石具强磁特性, 两者会在地表引起变化幅度较大的异常响应, 由此归纳提取出呈带状展布的  $\Delta T$  强负磁异常为 Maheiga 金矿的地球物理找矿信息标志, 确定磁力勘探是寻找隐伏的条带状铁建造型金矿的最佳首选方法, 其勘查组合流程为: (1) 利用航磁异常发现和圈定 BIF 聚集分布区; (2) 利用地面高精度磁测寻找隐伏—半隐伏含铁建造体; (3) 利用精确剖面正反演拟合计算, 确定 BIF 的连接关系、形态及赋存部位。此模式, 已成功应用于坦桑尼亚 Maheiga 金矿外围的物探勘查中, 有效地指导了该地区此种类型的金矿勘查, 目前矿区与外围已探明(332+333)金金属资源量 34 吨。

**关键词** 坦桑尼亚; 地球物理特征; 找矿标志; 条带状含铁建造; 金矿

中图分类号 P631

文献标识码 A

doi: 10. 6038/pg20140560

**Abstract** The Maheiga gold mining belongs to concealed iron formation type gold deposit in Tanzania. It is closely related to banded iron formation (BIF) in the country; by the analysis on magnetic parameters and magnetic anomaly characteristics of the rock (ore) in the region and mining area, it suggests that gold ore and banded iron formation related to gold deposit are with strong magnetic properties, only banded iron formation and gold ore body can cause abnormal response of large variations in the surface, so the scale and intensity of magnetic anomaly on the ground magnetic survey should be caused by banded iron formation; thus, it can be concluded that  $\Delta T$  strong negative magnetic anomaly in banded distribution for geophysical prospecting indicators of Maheiga gold mine, to determine that magnetic exploration is the best preferred method for prospecting concealed the banded iron formation modelling gold deposits, its exploration combination process is: (1) using aeromagnetic anomalies to find and delineate the BIF gathered area; (2) to find concealed - half concealed iron formation body by using the ground high-precision magnetic survey; (3) making the use of precision profile in forward-inversion calculation, to determine the BIF connection relations, shape and occurrence position. Setting up this model, It has been applied to the Maheiga gold deposits in peripheral area, effectively guide for this type gold ore exploration in the region in Tanzania. At present, the mining area and the periphery have proved gold metal resources of 34 tons (332 + 333).

**Keywords** Tanzania; geophysical characteristics; ore prospecting indicator; banded iron formation; gold deposit

## 0 引言

条带状含铁建造(Banded Iron Fm, 简称为 BIF)是世界上已知的最重要的铁矿床类型(约占全球资源量的 60%), 主要分布于早前寒武纪, 而与 BIF 伴生的金矿在全球也有重要地位, 产量约占世界总产量的 13%(沈保丰等, 1988); 坦桑尼亚是世界上重要的产金国之一, 环绕维多利亚湖的太古宙绿岩带是世界级的金矿带, 其中 90% 以上为太古界绿岩带型金矿, 条带状铁建造型(BIF)金矿是坦桑尼亚绿岩带型金矿床中的一个主要类型, 该国大约有三分之一的黄金年产量来自于 BIF 型金矿床(谭代卫等, 2013)。

坦桑尼亚 Maheiga 金矿属于隐伏的条带状铁建造型金矿, 是河南省地质矿产勘查开发局第二地质矿产调查院近年在坦桑尼亚探明的一个隐伏大型金矿床, 它位于环维多利亚湖八大绿岩带之一的 Kahama 绿岩带东部, 东接 Mabale-Buhungukira 绿岩带, 该矿床处于季节性沼泽地带, 地形平坦, 为全覆盖区, 沼泽性黑土和风化层厚达几十米, 大部分区域低阻屏蔽严重, 常规地质手段(化探、电法、填图)难以达到发现矿床的地质目的, 而磁力勘查不受此影响, 是解决这一问题行之有效的快速、高效勘探方法(陈载林等, 2013); 地面

高精度磁测在该矿区取得的异常清晰,可信度高,为该金矿床的发现起了至关重要的作用。

关于坦桑尼亚境内的金矿床,以往和现在,国内外研究的也较多;很多专家(Borg, 1992; Kuehn, 1992; Borg and Krogh, 1999; Vos *et al.*, 2009; 任军平等, 2013)对坦桑尼亚著名的 Geiga (盖塔)、Jubilee Reef (朱比利里夫) 和 Golden pride (戈登普瑞德) 等金矿床的成因、矿床地质特征及构造背景等方面进行了研究,国内(刘军和朱谷昌, 2012; 谭代卫等, 2013)则对汉德尼金矿床、PL7017/2011 矿权区的地质特征与找矿方向进行了分析,李水平等(2009, 2012, 2013a)除对金矿区内磁异常采取“倒相 180°”解释外,还对金矿床上的磁力、激电异常特征以及条带状含铁建造的磁性特征进行了初步探讨,但以上研究均未涉及南半球、低纬度区含铁建造型金矿床的地球物理找矿信息标志以及磁力勘查该类型金矿的方法流程. 因此,本文将依据赤道以南、低磁纬度区的地球磁场分布规律,对 Maheiga 金矿的磁测地球物理异常特征进行进一步的分析和研究,在此基础上归纳总结 Maheiga 金矿的磁测地球物理找矿信息及标志,以此来进一步探讨运用磁测手段间接寻找隐伏条带状铁建造型金矿的优选方法和组合流程,此项研究将会提高条带状铁建造型金矿床的研究水平,以及对指导寻找此类型隐伏金矿床具有重要意义。

## 1 地质特征

### 1.1 区域地质背景

主要地层单元为太古界,下部为多多马系(群)(Dodoma System),中部为尼安萨系(群)(Nyanzian Supergroup System)、上部为卡维隆多系(群)(Kavirondian System)。

多多马系(群)为古老花岗片麻岩和混合岩,尼安萨系(群)由底部基性岩浆岩和主体长英质火山碎屑岩夹条带状

含铁建造岩系(主要含矿层)组成,卡维隆多系(群)由底砾岩和石英岩构成,不整合于尼安萨群之上. 地表为大范围的第四系残坡积物、冲积砂土及红、黄、黑土所覆盖。

区域内构造以一系列的褶皱为主;区内岩浆岩发育,呈线状和环形分布,在地貌上形成了独特的自然景观。

### 1.2 矿区地质

矿区内地层比较简单,地表被沼泽性黑土和第四系松散残坡积物覆盖,矿区仅局部可见花岗岩风化形成的砂质粘土. 通过钻探查明,其下为尼安萨系(群)变质火山—沉积岩,主要岩性为浅变质长英质凝灰岩、变酸性凝灰岩、变凝灰质砂岩,变基性凝灰岩及条带状含铁建造(磁铁石英岩). 金矿体位于含铁建造岩层底部或接触带附近或剪切带内。

矿区内无岩浆岩,无明显断裂,主要的控矿构造或为一轴面走向近南北的褶皱。

## 2 区域地球物理特征

### 2.1 区域岩石磁性特征

区域上测定的岩石磁化率经过数理统计和磁性分级后,从表 1 中可以看出,不论是地表还是钻孔内,只有与金矿有关联的 BIF(磁铁石英岩)的磁化率数值是最大的,要比区域上其它岩石的磁化率高出 3~5 个数量级,具中、强磁性特征,其它岩石则具无一弱磁性特征. 同时,钻孔岩芯中测定的 BIF(磁铁石英岩)磁性参数值( $510 \times 10^{-3}$  SI),明显地高于地表 BIF 的磁性参数值( $20.6 \times 10^{-3}$  SI),而地表 BIF 的磁参数值仍比区域上其它岩石的磁参数值要高的多;因此,区域上能在地表引起变化幅度较大的异常响应,则只有 BIF,其它岩石一般引起的都是背景场,BIF 引起的高强度异常易于从背景异常中区分出来,这为间接找金选择靶区提供了良好的地球物理前提。

表 1 坦桑尼亚区域岩(矿)石磁化率特征(据李水平等, 2013a)  
Table 1 The statistics of magentic susceptibility parameters of rocks in Tanzania

岩矿石名称	标本数	$\kappa \times 10^{-3}$ SI		磁性分级	测定位置
		常见值	常见变化范围		
条带状含铁建造(磁铁石英岩)	243	510	280~740	强	钻孔
条带状含铁建造(磁铁石英岩)	299	20.6	10.4~30.8	中	区域地表
辉绿岩	280	9.5	5.5~13.5	弱	区域地表
花岗岩	330	3.57	0.65~6.49	弱	区域地表
角砾岩	180	1.98	0.76~3.20	弱	区域地表
片岩	36	0.94	0.19~1.69	微	区域地表
绿泥千枚岩	18	0.60	0.36~0.84	微	钻孔
凝灰质砂岩	166	0.44	0.22~0.66	微	钻孔
泥岩	69	0.21	0.08~0.34	微	区域地表
石英岩	43	0.04	0.03~0.05	无	区域地表

### 2.2 区域航磁异常特征

图 1 为坦桑尼亚联合共和国环维多利亚湖南部西嘎山一带的航磁异常影像图,从图上可以看到,西北部为高强度磁场区,磁异常窄长、磁场变化幅度大;东南部和南部为低强度、平静磁场区域,磁异常呈云雾状面形特征. 西北部磁异常为线性正负伴生异常,呈相间分布特征,这类异常成群的出

现在西北部地区,呈向东南突出的弧形分布。

长而窄的正负异常与尼安萨群岩石特别是条带状含铁建造序列区域重合;低强度、平静磁场平稳区域通常与已知的太古界地盾中的同期和晚期造山运动花岗岩很好地相关,即区域磁场图客观地反映了磁性岩的分布及其构造形态特征。



钻孔由浅入深,岩石磁化率数值逐渐增高,表明了岩石磁性从弱到强的磁性发展过程,反映了岩石由变酸性岩层向变中基性岩层的渐变过渡特征.

3.2 矿区地球物理异常特征

地磁要素随地理位置的不同(特别是不同的纬度上)而具有一定的分布特征(管志宁,2005),对于南半球、低纬度区,主要是水平强度(H)和地磁倾角(I)这两个地磁要素有很大的变化,地磁场水平强度在磁赤道最大,地磁倾角在磁赤道以南为负(指北向上)(徐文耀和白春华,2009;冯彦等,2013),这两个因素体现在低纬度区、南半球的坦桑尼亚,一方面使地磁场总强度的模量异常 $\Delta T$ 磁场结构具北正南负特点,另一方面使大量的 $\Delta T$ 负磁异常为主体异常.

磁场总强度的变化 $\Delta T$ 易于精确测定(管志宁,2005),为目前使用最广泛的磁异常基础数据(林晓星和王平,2012),图3为坦桑尼亚Maheiga矿区地面磁力测量 $\Delta T$ 磁场异常图,从图中可以看出,占主导地位的 $\Delta T$ 负磁异常呈近东西向,线性带状展布,异常强度高,变化梯度陡,具一定规模,且形态规整(李水平等,2013b),它反映了磁性体(BIF和金矿体)的延伸方向和分布特征,代表了磁性体(BIF)在地下空间的赋存状态与埋藏深度.

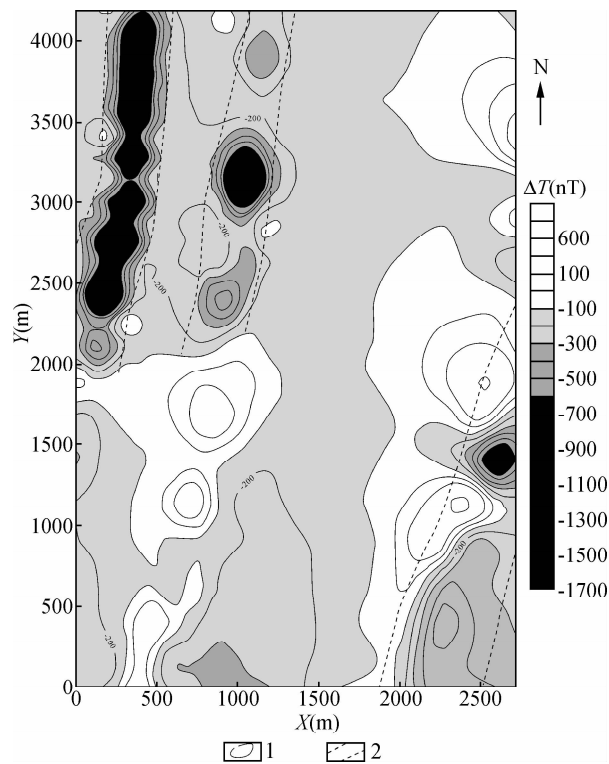


图3 Maheiga金矿地面磁力测量 $\Delta T$ 磁异常图  
(据李水平等,2012)

1—磁测等值线;2—磁异常带

Fig. 3 The plan of ground  $\Delta T$  magnetic isoanomaly of the gold mining in Maheiga

1—Magnetic contour; 2—Magnetic anomaly zone

根据区内磁异常的分布特征,圈定出了规模较大的磁异常带3条,分别位于矿区的西北部和东南部,西北部两条为

单一的负磁异常带,东南部一条为正负组合的磁异常带,三者延伸方向为近南北向或北东向,它们都由3~4个负磁异常单元或正负组合磁异常单元构成,西北部异常带内负磁异常单元均为封闭的和半封闭的圆形或椭圆型异常圈,西北部两条磁异常带分别长约2200 m和1800 m,宽约200 m和150 m;东南部磁异常带内磁异常单元为不封闭的异常圈,形状不甚规则,具正负伴生的磁场特征;图3中3条磁异常带还明显地表现出:以西边磁异常带的强度为最大,从西往东呈依次的减弱特征,表明了条带状含铁建造的埋藏深度逐渐加大,规模逐渐变小,此3条磁异常带在初期预查时,推测均为隐伏的条带状含铁建造引起的,具找矿意义(李水平,2009),这与后来钻探查明的实际地质情况很吻合,系条带状含铁建造和金矿体共同引起的.

如图4所示,由于条带状含铁建造具有一定的强度和规模,08勘探线上 $\Delta T$ 异常曲线尖锐,范围较宽,经化极后(方迎尧等,2006;骆遥和薛典军,2010;骆遥,2013),南半球 $\Delta T$ 正、负异常整体发生了互换,消除了异常的偏移错位,异常极大值与含铁建造浅部中心位置相对应;化极曲线两翼则基本对称,反映了条带状含铁建造与矿体的产状较陡(李水平等,2013c).

经钻孔揭露,金矿体主要赋存于条带状铁建造(BIF)岩层的底部、及条带状铁建造与变酸性凝灰质砂岩的接触界面位置.矿体形态、产状同时受层间剪切带及条带状铁建造岩层控制.

总之,该矿区地面磁异常的表现特征客观真实地反映了磁性源体BIF的地下赋存状态,其提供的异常信息为该金矿的发现起到了良好的指示作用.

4 地球物理找矿标志

坦桑尼亚Maheiga金矿床的形成与条带状含铁建造岩层密切相关,严格受这个特殊的地层标志控制,它指示和提供了金矿床存在的地磁场变化信息,使得磁力方法间接寻找BIF型金矿成为可能(邹光华,1990).

坦桑尼亚Maheiga金矿找矿信息标志如表3所示,探测目标体(条带状含铁建造BIF)的物理属性,为磁力测量方法间接寻找含铁建造型金矿床提供了良好的物性前提.

表3 Maheiga金矿磁测地球物理找矿标志简表	
Table 3 Geophysical characteristics and ore prospecting indicators of magnetic survey in the gold mining, Maheiga	
物性参数	磁性
探测目标物	条带状含铁建造
目标物物性	极强磁性
目标物围岩物性	无一微磁性
地面磁异常	呈带状展布的 $\Delta T$ 强负磁异常

5 找矿勘查物探优选方法组合流程

依据坦桑尼亚Maheiga金矿的磁测地球物理异常特征,对寻找条带状铁建造型金矿而言,磁力勘探是第一选择.具体勘查流程为:

(1)发现和圈定含铁建造聚集分布区;充分利用坦桑尼亚已有的航磁异常成果,进行矢量化、数字化和综合分析研

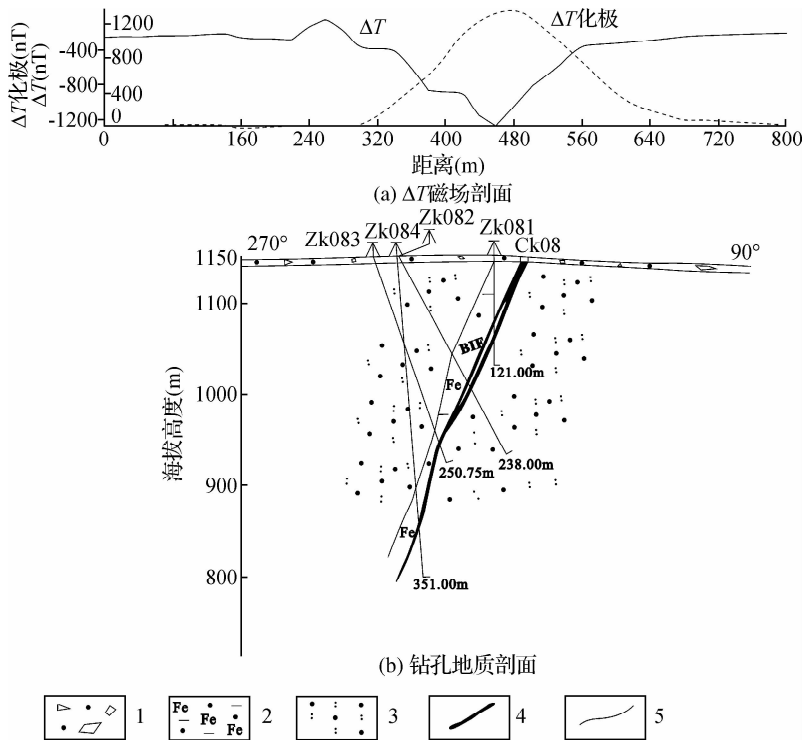


图 4 Maheiga 金矿 08 号勘探线地质——物探综合剖面图

1—残坡积物;2—条带状含铁建造;3—凝灰质砂岩;4—金矿脉;5—地质界线.

Fig. 4 The profile of line 08 for geology— geophysical survey of the gold mining in Maheiga

1—The residual sediments;2— Banded Iron Fm; 3—Tuffaceous sandstone;4—Gold vein;5—The geological boundaries.

究,选择区域上整体呈带状展布的窄长、且变化幅度相对大的磁异常带,作为有利找矿靶区,进行合作或购买矿权。

(2)寻找并圈定含铁建造体:利用 1 : 10000 比例尺的地面高精度磁测在靶区内寻找并圈定隐伏——半隐伏含铁建造序列的位置、延伸方向及分布范围,确定成矿有利地段。

(3)发现并圈定矿体群或矿体的大体赋存部位:大比例尺的地面高精度磁测和精测剖面 2. 5D 人机联作拟合计算,并与已知地质资料相结合,将其作为反演约束条件,建立地球物理反演模型,进行确定隐伏——半隐伏含铁建造之间的连接关系和形态,以及了解其深部产状、埋深(刘光鼎和郝天珧,1995;严加永等,2008;李富等,2013)。

根据本文方法流程,对该地区实施找矿勘查工作,取得进展。

6 结 论

6.1 含铁建造型金矿与条带状含铁建造(BIF)密切相关,条带状含铁建造具有规模大,与背景岩石磁性差异显著等特点,能够在地面引起明显的地球磁场变化,易于为地面高精度磁力测量所发现,因此,磁力勘查可作为寻找 BIF 型金矿的首选方法,带状展布的 ΔT 强负磁异常可作为寻找 BIF 和金矿体的地球物理找矿标志;磁力测量可首先作为直接找矿标志发现和圈定条带状含铁建造序列,而后作为间接找矿标志进行寻找与其伴生的隐伏—半隐伏的 BIF 型金矿。

6.2 在总结坦桑尼亚 Maheiga 金矿床的地球物理特征基础上,建立起来的找矿信息标志和物探勘查方法流程,对寻找

此类型金矿起到了很好的启示和借鉴作用,目前已应用于坦桑尼亚 Maheiga 金矿外围(其中 PL7438 矿权区已进入钻探普查阶段)及西嘎山一带(PL8070 矿权、PL9110 矿权已发现 BIF 体和金矿化蚀变带)的含铁建造型金矿的物探勘查中,有效地指导了该地区的找矿工作,且已取得了明显的地质成果。

致 谢 审稿专家为论文的完善提出了许多宝贵的意见和建议,笔者谨向两位匿名评审专家表示由衷的谢意!对在本文完成过程中给予支持和帮助的河南省地矿局第二地质矿产调查院教授级高工杨东潮表示感谢!

References

Borg G. 1992. Discussion the cause of archean article banded iron formation the gold deposit in Geita and Jubilee Reef, Tanzania [J]. Wu L D Trans. International Volcanology (in Chinese), (1): 32-43.

Borg G, Krogh T. 1999. Isotopic age data of single zircons from the Archaean Sukumaland Greenstone Belt, Tanzania[J]. J. Afr. Earth Sci., 29(2): 301-312.

Chen Z L, Zuo Q H, Wang J F. 2013. Magnetic prospecting on magnet mining exploration area of Laos bokeo province[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 28(3): 1447-1452, doi: 10. 6038/pg20130339.

Fang Y Y, Zhang P Q, Liu H J. 2006. Approaches to the interpretation of magnetic ΔT anomalies in the low magnetic latitude area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration (in Chinese), 30(1): 48-54.

Feng Y, Jiang Y, Sun H, et al. 2013. Calculation and analysis of



geomagnetic field horizontal gradients and high altitude geomagnetic field[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 28 (2): 735-746, doi:10.6038/pg20130222.

Gu Y, Ge L Q, Xiong S Q, *et al.* 2013. A fast prospecting method combination for aeromagnetic anomaly verification[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 28 (4): 2009-2013, doi: 10.6038/pg20130444.

Guan Z N. 2005. Geomagnetic field and magnetic exploration (in Chinese) [M]. Beijing: Geological Press, 1-310.

Kuehn S. 1992. Tanzania and Kenya southwest gold mineralization features and tectonic setting[J]. Lu S S Trans. International Precambrian Geology (in Chinese), (1): 66-72.

Li F, Liu X M, Liao G Z, *et al.* 2013. The application of high precision ground magnetic and electromagnetic sounding in the mineral resources survey [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 28(1): 427-433, doi:10.6038/pg20130148.

Li S P, Bai D S, Cheng H, *et al.* 2012. Magnetic and induced polarization anomaly characteristics of a gold ore deposit in Tanzania[J]. Geophysical and Geochemical Exploration (in Chinese), 36(5): 737-740.

Li S P, Wang J G, Chen H, *et al.* 2013b. The magnetic susceptibility parameters characteristics of drilling core rock (ore) and their application to stratigraphic lithologic division[J]. Geophysical and Geochemical Exploration (in Chinese), 37(5): 775-778.

Li S P, Yang D C, Cheng H, *et al.* 2013a. Statistic features on magnetic susceptibility parameters of banded iron formation in Tanzania and their significance[J]. Geology and Prospecting (in Chinese), 49(4): 784-790.

Li S P, Yang D C, Zhu L, *et al.* 2013c. Application of magnetic measurement on concealed iron-containing gold deposit and peripheral mine[J]. Gold (in Chinese), 34(6): 25-29.

Li S P. 2009. The Application of the method for interpretation of magnetic  $\Delta T$  anomalies in the low magnetic latitude area to gold ore prognosis in Tanzania[J]. Geophysical and Geochemical Exploration (in Chinese), 33(6): 657-659.

Lin X X, Wang P. 2012. An improved method for reduction to the pole of magnetic field at low latitude—the method of frequency conversion bidirectional damping factor[J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 55(10): 3477-3484, doi:10.6038/j.issn.0001-5733.2012.10.031.

Liu G D, Hao T Y. 1995. Searching of hidden mineral deposits by geophysical methods[J]. Acta Geophysica Sinica (in Chinese), 38(6): 850-854.

Liu J, Zhu G C. 2012. Geological characteristics of the Handeni gold deposit in Tanzania and its ore-search direction[J]. Geology and Prospecting (in Chinese), 48(1): 177-184.

Luo Y, Xue D J. 2010. Reduction to the pole at the geomagnetic equator[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 53(12): 2998-3004, doi:10.3969/j.issn.0001-5733.2010.12.024.

Luo Y. 2013. Hartley transform for reduction to the pole [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 56(9): 3163-3172, doi:10.6038/cjg20130929.

Ren J P, Wang J, Liu X Y, *et al.* 2013. New progress on the Golden pride gold deposit research of Nzega greenstone belt in Tanzania[J]. Geological Survey and Research (in Chinese), 36 (1): 47-53.

Shen B F, Li S S, Luo H. 1988. Article Precambrian banded iron formation (BIF) gold mineralization [J]. International Precambrian Geology (in Chinese), (1): 1-34.

Tan D W, Fu Z K, Guo L, *et al.* 2013. Preliminary synthetic geological exploration study on PL7017 /2011 Shinyanga district, Tanzania[J]. Journal of Guizhou University: Natural Sciences (in Chinese), 30(3): 52-55.

Vos I M A, Bierlein F P, Standing J S, *et al.* 2009. The geology and mineralisation at the Golden Pride gold deposit, Nzega Greenstone Belt, Tanzania [J]. Miner. Deposita, 44 (7): 751-764.

Xu W Y, Bai C H. 2009. Role of the African magnetic anomaly in controlling the magnetic configuration and its secular variation [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 52(8): 1985-1992.

Yan J Y, Teng J W, Lv Q T. 2008. Geophysical exploration and

application of deep metallic ore resources [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 23(3): 871-891.

Zou G H. 1990. Geophysical prospecting in search for gold deposits [J]. Geophysical and Geochemical Exploration (in Chinese), 14 (5): 321-333.

# 附中文参考文献

Borg G. 1992. 坦桑尼亚盖塔和朱比利里夫太古代条带状铁建造中金矿床的成因探讨[J]. 吴礼道译. 国外火山地质, (1): 32-43.

陈载林, 左琼华, 王建飞. 2013. 老挝波乔省某磁铁矿区磁法勘探[J]. 地球物理学进展, 28(3): 1447-1452, doi:10.6038/pg20130339.

方迎尧, 张培琴, 刘浩军. 2006. 低磁纬度地区  $\Delta T$  异常解释的途径与方法[J]. 物探与化探, 30(1): 48-54.

冯彦, 蒋勇, 孙涵, 等. 2013. 地磁场水平梯度及高空地磁场的计算与分析[J]. 地球物理学进展, 28(2): 735-746, doi:10.6038/pg20130222.

谷懿, 葛良全, 熊盛青, 等. 2013. 航磁异常地面快速查证方法组合研究[J]. 地球物理学进展, 28(4): 2009-2013, doi:10.6038/pg20130444.

管志宁. 2005. 地磁场与磁力勘探[M]. 北京: 地质出版社, 1-310.

Kuehn S. 1992. 坦桑尼亚和肯尼亚西南部金矿化特征和构造背景 [J]. 李上森译. 国外前寒武纪地质, (1): 66-72.

李富, 刘鑫明, 廖国忠, 等. 2013. 地面高精度磁测和电测深在矿产调查中的应用[J]. 地球物理学进展, 28(1): 427-433, doi: 10.6038/pg20130148.

李水平, 白德胜, 程华, 等. 2012. 坦桑尼亚某金矿的磁力、激电异常特征[J]. 物探与化探, 36(5): 737-740.

李水平, 王建光, 程华, 等. 2013b. 钻孔岩芯岩(矿)石磁化率参数特征并用于地层岩性划分[J]. 物探与化探, 37(5): 775-778.

李水平, 杨东朝, 程华, 等. 2013a. 坦桑尼亚条带状含铁建造磁化率参数统计特征及其应用[J]. 地质与勘探, 49(4): 784-790.

李水平, 杨东朝, 朱鲁, 等. 2013c. 磁力测量在隐伏含铁建造型金矿床及外围矿权区中的应用[J]. 黄金, 34(6): 25-29.

李水平. 2009. 低磁纬度地区  $\Delta T$  异常处理解释方法在坦桑尼亚某地区金矿预查中的应用[J]. 物探与化探, 33(6): 657-659.

林晓星, 王平. 2012. 一种改进的低纬度磁场化极方法——变频双向阻尼因子法[J]. 地球物理学报, 55(10): 3477-3484, doi: 10.6038/j.issn.0001-5733.2012.10.031.

刘光鼎, 郝天珧. 1995. 应用地球物理方法寻找隐伏矿床[J]. 地球物理学报, 38(6): 850-854.

刘军, 朱谷昌. 2012. 坦桑尼亚汉德尼金矿床地质特征与找矿方向分析[J]. 地质与勘探, 48(1): 177-184.

骆遥, 薛典军. 2010. 磁赤道处化极方法[J]. 地球物理学报, 53 (12): 2998-3004, doi:10.3969/j.issn.0001-5733.2010.12.024.

骆遥. 2013. Hartley 变换化极[J]. 地球物理学报, 56(9): 3163-3172, doi:10.6038/cjg20130929.

任军平, 王杰, 刘晓阳, 等. 2013. 坦桑尼亚 Nzega 绿岩带 Golden pride 金矿床研究进展[J]. 地质调查与研究, 36(1): 47-53.

沈保丰, 李上森, 骆辉. 1988. 前寒武纪条带状铁建造 (BIF) 中金的成矿作用[J]. 国外前寒武纪地质, (1): 1-34.

谭代卫, 付芝康, 郭磊, 等. 2013. 坦桑尼亚辛阳嘎地区 PL7017/2011 研究区综合找矿初步研究[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 30(3): 52-55.

徐文耀, 白春华. 2009. 非洲磁异常对地磁场结构及其长期变化的控制作用[J]. 地球物理学报, 52(8): 1985-1992.

严加永, 滕吉文, 吕庆田. 2008. 深部金属矿产资源地球物理勘查与应用[J]. 地球物理学进展, 23(3): 871-891.

邹光华. 1990. 金矿普查中的物探工作[J]. 物探与化探, 14(5): 321-333.